

圧力抑制室保有水の温度成層化による 原子炉格納容器圧力等への影響等の検討

平成24年2月1日

独立行政法人 原子力安全基盤機構

原子力システム安全部

目次

1. 目的
2. 圧力抑制室保有水の温度成層化の想定
3. トーラス室に流入した海水による除熱の想定
4. 1～3号機のプラント挙動への影響
5. 環境への放射性物質の放出量の推定
6. まとめ

1. 目的

- これまでの事故初期(約100時間)のMELCOR解析結果では、格納容器圧力について実測値と解析値に差異が見られた。
 - 2号機の逃し安全弁開放後
 - 3号機のRCIC作動中、HPCI起動後
- そのため、3号機のRCIC作動中のPCV圧力上昇の要因として圧力抑制室保有水の温度成層化を想定した場合について、MELCOR解析のモデルを改良してプラント挙動への影響を確認。
- さらに2号機でPCV圧力の上昇が緩やかであった要因としてトーラス室に流入した海水による除熱を想定した場合について、MELCOR解析のモデルを改良してプラント挙動への影響を確認。
- そのうえで、上述の2点の想定について各号機間の整合性を検討。
- 今回の想定でのシナリオにおける環境への放射性物質の推定放出量を試算。



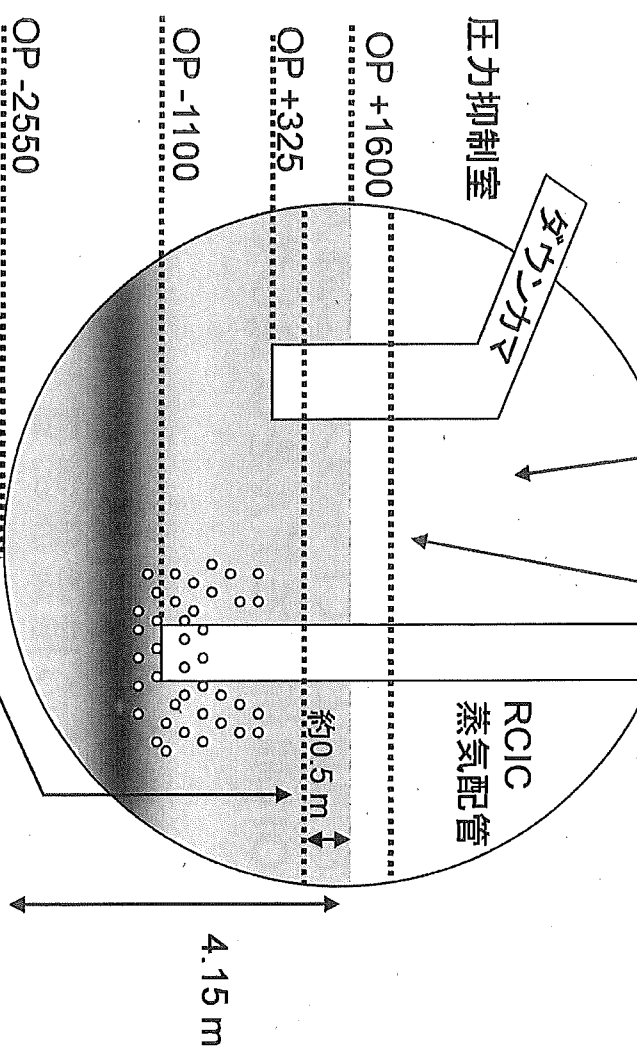
JNES

2. 圧力抑制室保有水の温度成層化の想定

RCICの排出蒸気によって排出管近傍の温度が上昇。高温水が水面近傍を周方向に拡がることにより、S/P全体では上部の温度が高く、下部の温度が低くなり温度成層化が生じると想定

圧力抑制室の圧力はプール水面の温度によって支配される

RCICの注水による増量+約0.6 m

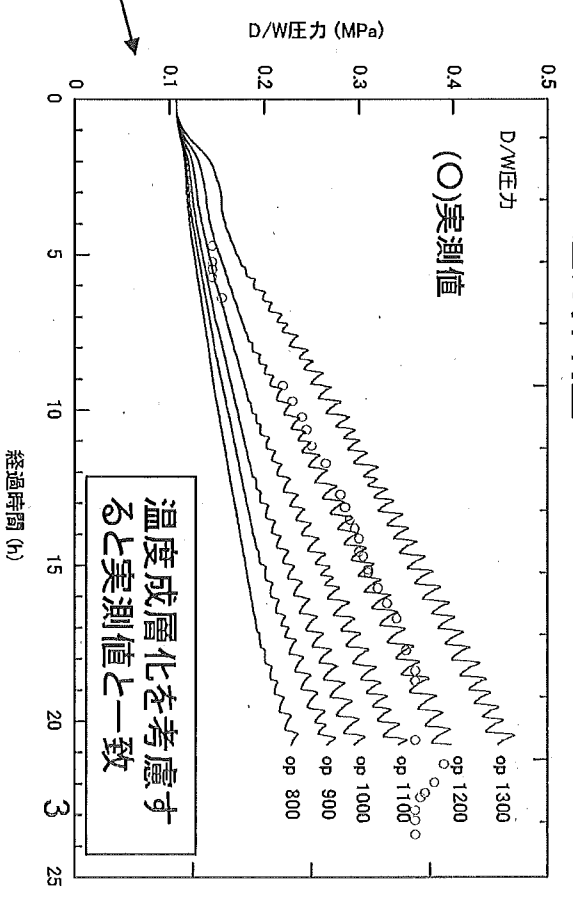
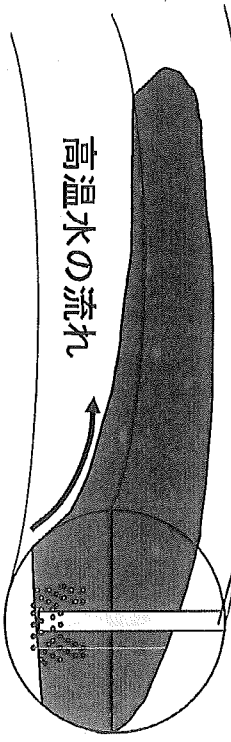
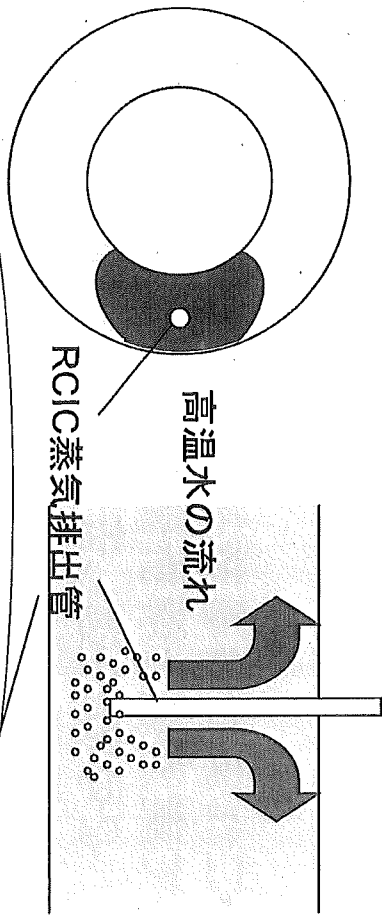


OP -2550

温度成層化が生じた場合、S/Pの温度を平均温度として計算すると、水面温度を低く評価
→D/W圧力を低く評価



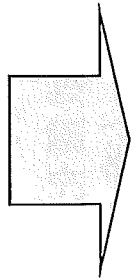
温度成層化をモデル化
・S/Pを垂直方向に2分割
・分割高さは、パラメータとして感度解析を実施し、3号機の実測値と比較



温度成層化を考慮すると実測値と一致

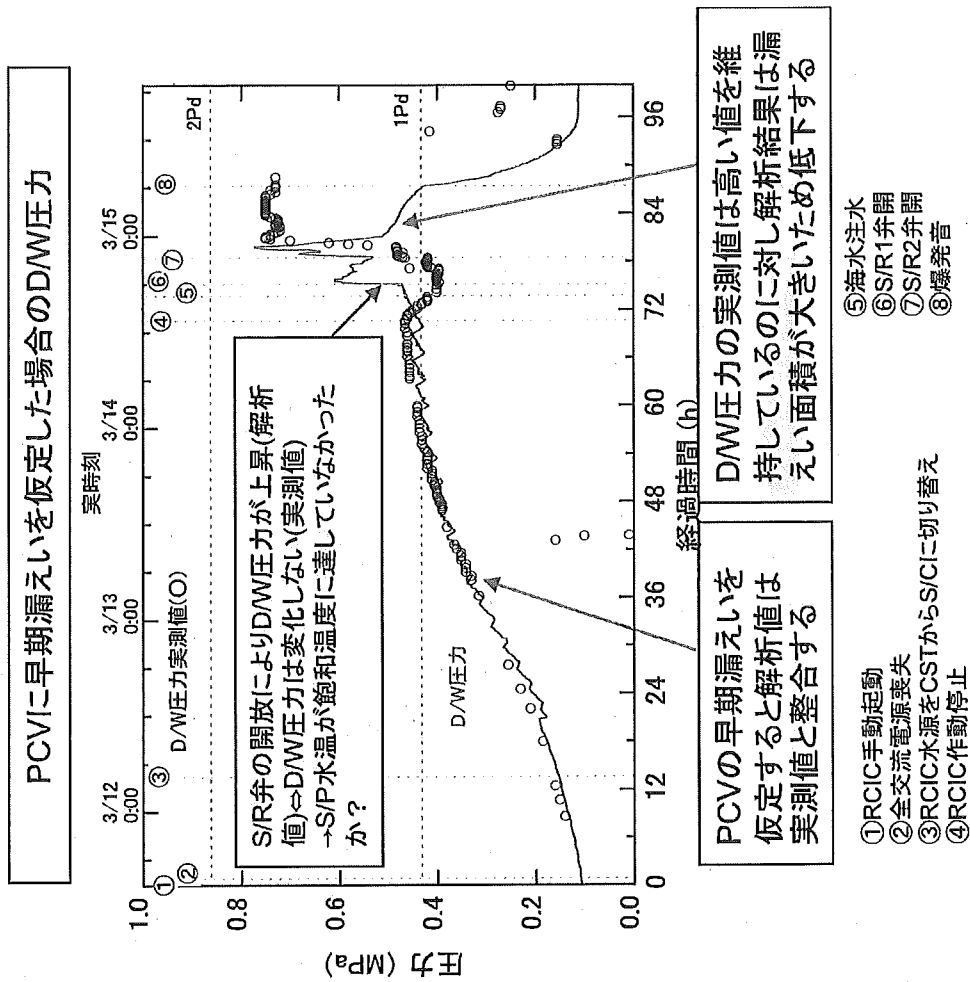
3. トーラス室に流入した海水による除熱の想定

早期PCV漏えいを仮定した解析ではRCIC動作時のD/W圧力がよく一致するが、S/R弁を開放した後の圧力挙動は実測値と整合しない。



2号機では、3月12日1時頃にRCIC室に長靴程度の水、同日2時頃に水たまりの量の増加が確認されており*、以下の仮定に基づき解析を実施

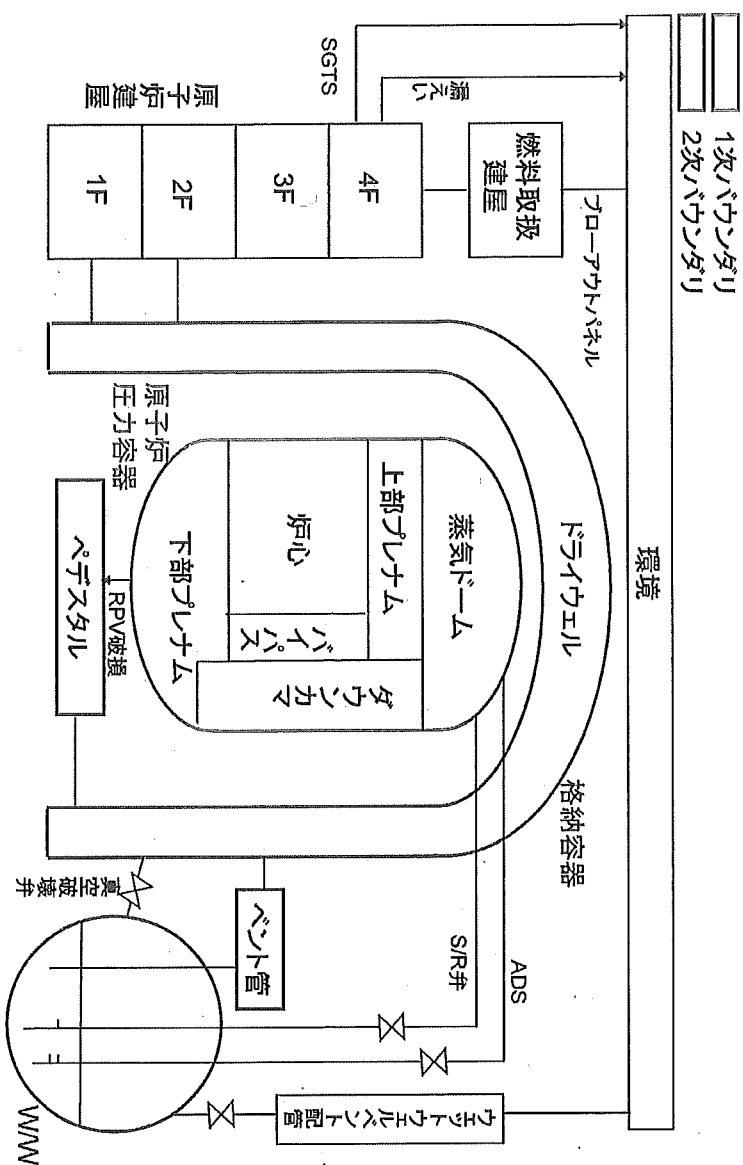
- 早期PCV漏えいは想定しない
- RCICによる排気熱量が系外へ除熱されたと仮定
 トーラス室に流入した海水により除熱された可能性を想定
 (RCICによる排気熱量の約60%がS/Cから除熱されたと仮定し、S/Cのエンタルピーを計算)



出典:原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書、JNES-RE-2011-0002

*東京電力「福島第一原子力発電所事故の初動対応について」平成23年12月22日

解析体系 (MELCORモデル)



BWR-3 Mark-1のMELCORボリューム分割と流路

- 1号機: 非常用復水器
- 2号機: 原子炉隔離時冷却系
- 3号機: 原子炉隔離時冷却系、高圧注水系

解析コード: MELCOR1.8.5

- 原子炉格納容器は圧力が一定の空間毎にボリュームを分割
- 一つのボリューム内部では温度勾配がなく、均一になる。
- S/Cの温度成層化を仮定するため、S/Cのボリュームを上下に分割し、温度差を模擬
- S/C外面での海水冷却は、実際の水位の増減等が不明であるため、エンタルピーの計算により除熱
- 原子炉建屋内の放射性物質の移行挙動を検討するため、建屋内の空間について、ボリュームを分割
- 図示しているものその他、地震後に作動している冷却系、仮定される漏えいについて、蒸気、冷却水、FPの移行を計算

4.1 3号機のプラント挙動への影響

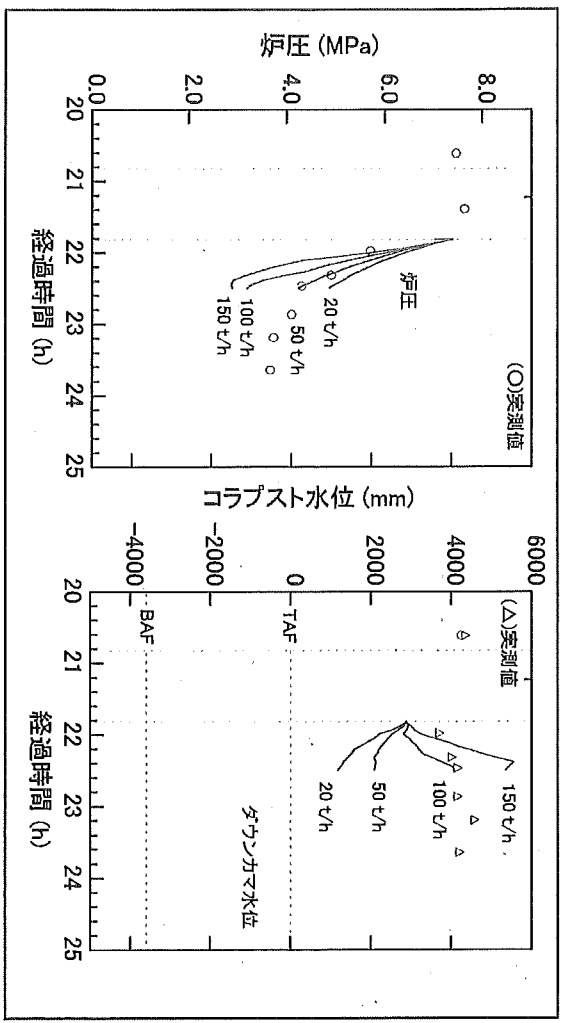
解析条件

- RCIC・HPCIの注水量はテストライン(CSTへの戻りライン)を模擬し、注水量は感度解析を踏まえて設定
- S/Cは温度成層化を模擬。上下に2分割。
 - プール上部はRCIC駆動蒸気によって温度上昇(感度解析からOP1200mmと設定)
 - HPCI起動時はHPCI蒸気配管出口近傍の水溫が低いと仮定
- 原子炉圧力容器下部ヘッド破損(42.4 h)を仮定
 - この時間以降のRPV圧力とD/W圧力がほぼ等しい値で推移していることから推定
- S/Cスプレイ、D/Wスプレイの流量は事業者からの情報に基づき $50 \text{ m}^3/\text{h}$ に設定
- 現状モデルではMCCIを過大評価すると考えられるためMCCI反応は考慮せず
- トーラス室に流入した海水による除熱の想定は、3号機ではHPCI停止後の13日3時頃にもRCIC室に入室している*ことから、考慮していない

*東京電力「福島第一原子力発電所事故の初動対応について」平成23年12月22日

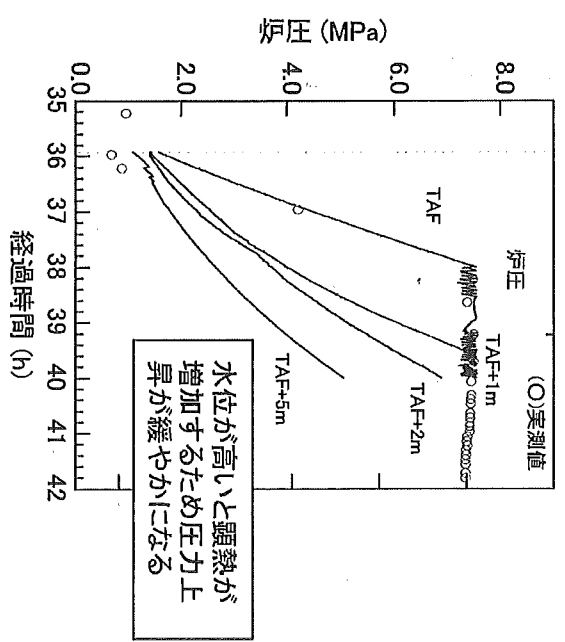
4.1.1 HPCIの運転状態に関する検討

HPCI起動後の原子炉圧力低下の挙動について、原子炉への注水流量をパラメータとして感度解析を実施



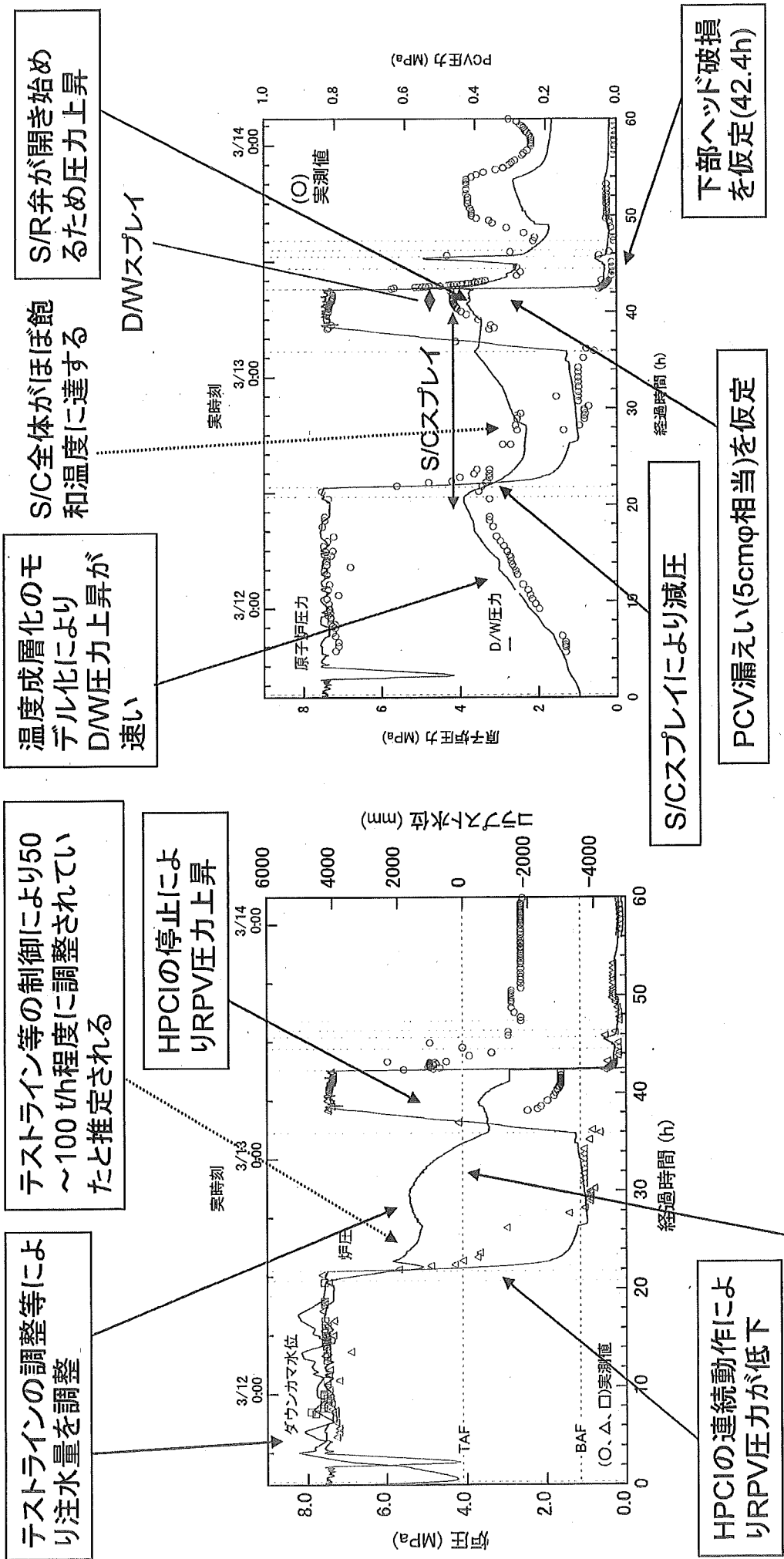
テストライン等の制御により50~100 t/h程度に調整されていたと推定される

HPCI停止以降S/R弁が開くまでの原子炉圧力上昇の挙動について、HPCI停止時の水位をパラメータとして感度解析を実施



HPCI停止時の水位はTAF程度であったと推定される
→水位が計測されなかった時間帯は十分な注水量でなかった可能性も考えられる

4.1.2 原子炉圧力・水位・D/W圧力の解析結果



テストラインの調整等により注水量を調整

テストライン等の制御により50~100 t/h程度に調整された」と推定される

HPCIの停止によりR/PV圧力上昇

温度成層化のモデル化によりD/W圧力上昇が速い

S/C全体がほぼ飽和温度に達する

S/R弁が開き始めるため圧力上昇

S/Cスプレーにより減圧

PCV漏えい(5cmφ相当)を仮定

下部ヘッド破損を仮定(42.4h)

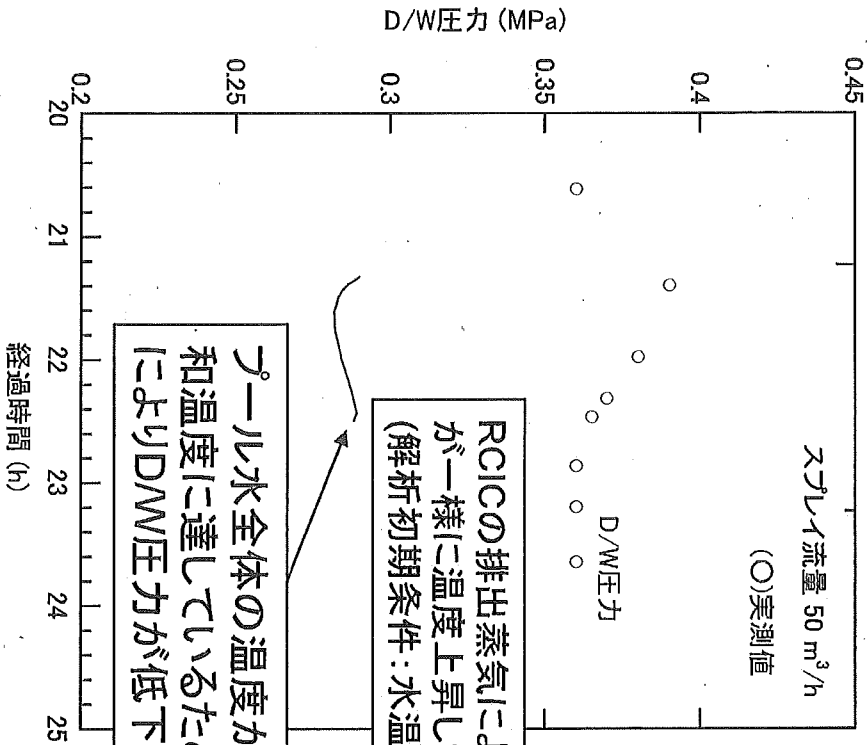
前項の解析に基づき、後半の注水量は少ないと仮定

S/C温度成層化、S/Cスプレー、運転員による注水流量の調整等を考慮すると概ね解析値は実測値と整合する

4.1.3 S/Cスプレイの効果

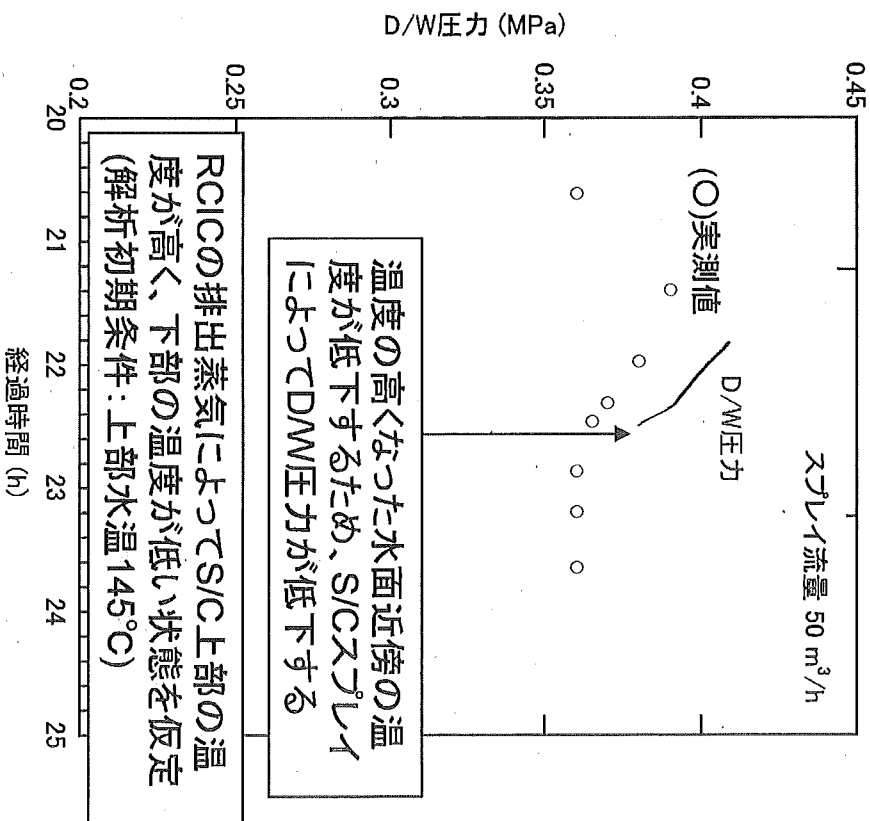
S/C全体の温度一様を仮定するとS/CスプレイによってD/W圧力はほとんど低下しない

S/Cの温度成層化を仮定すると、S/CスプレイによってD/W圧力が低下する



RCICの排出蒸気によってS/C全体が一様に温度上昇した場合を仮定
(解析初期条件: 水温127°C)

プール水全体の温度が高くほぼ飽和温度に達しているため、スプレイによりD/W圧力が低下しない



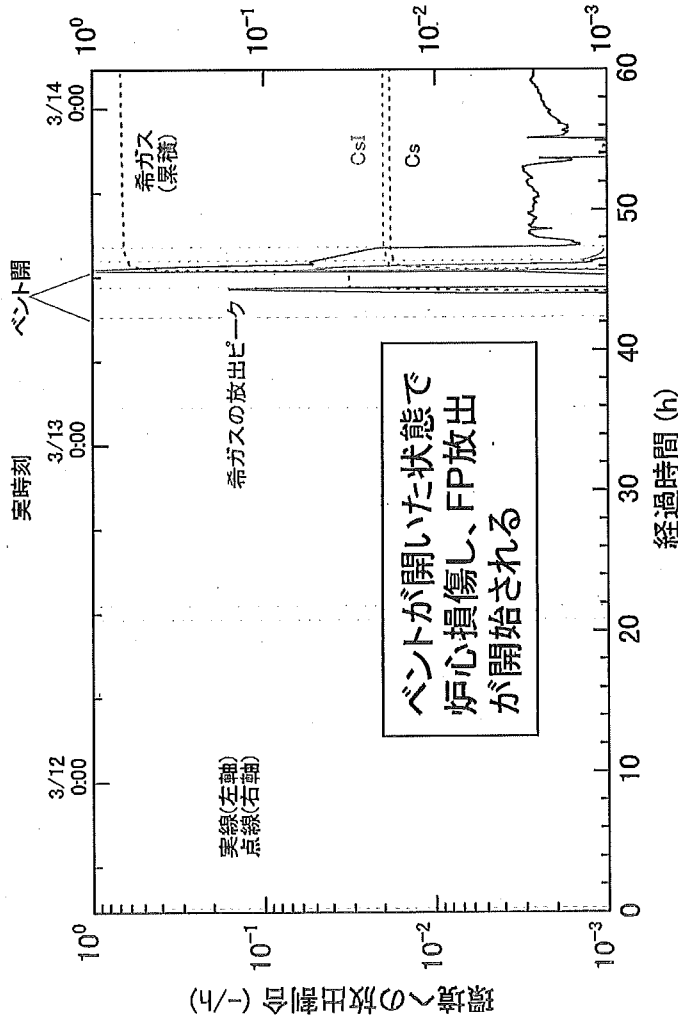
温度の高くなった水面近傍の温度が低下するため、S/CスプレイによってD/W圧力が低下する

RCICの排出蒸気によってS/C上部の温度が高く、下部の温度が低い状態を仮定
(解析初期条件: 上部水温145°C)

(注)S/Cスプレイの効果のみを確認するため、HPCIからの蒸気排出を考慮していない

4.1.4 環境への放射性物質放出

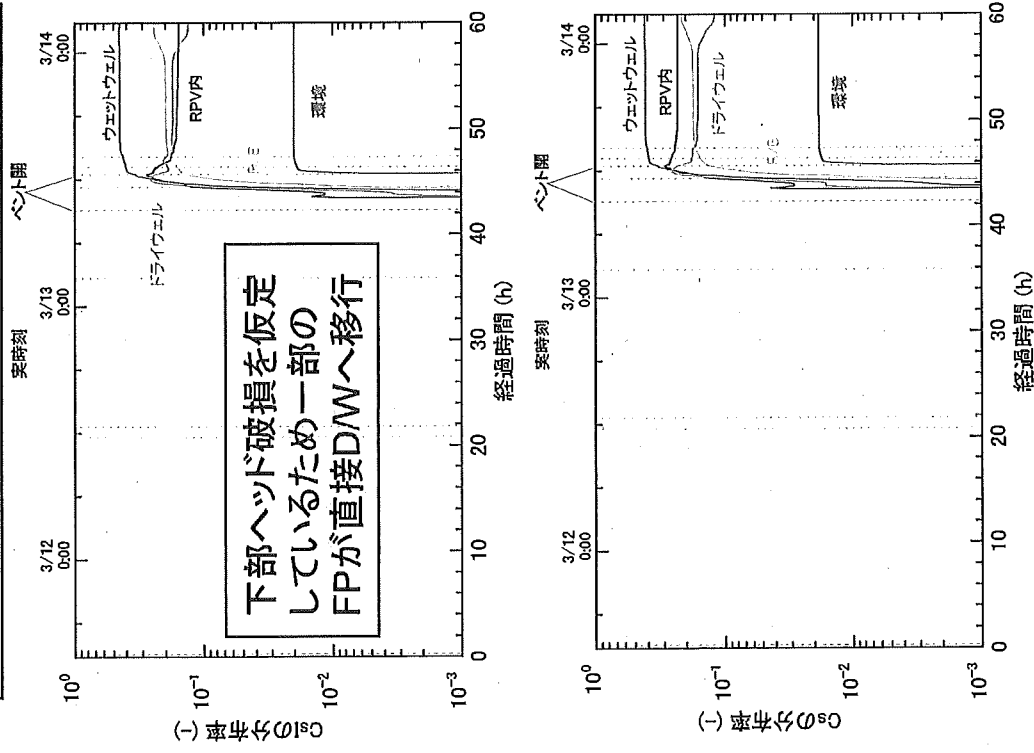
希ガスの放出挙動



(一) 希ガス放出の概観

PCVの漏えい及びベントにより環境へFPが放出される
 本解析では、希ガスは主としてベントにより放出されている
 ただし、漏えい口からの漏えい量とベントによる放出量は、漏えいの設定及びベントラインの開いていた時間等により変化するため、今後検討が必要

ヨウ素、セシウムの分布



(一) 希ガス放出の概観

PCV漏えいを仮定すると、ヨウ素、セシウムの放出量は、初期インベントリの約2%

4.1.5 1F3プラント挙動のまとめ

- ・RCIC動作時のDWM圧力挙動
 - ・ RCICの排出蒸気はS/Cの一カ所に継続して放出されるため温度成層化が生じると考えられる
 - ・ S/Cの温度成層化を模擬した解析ではDWM圧力挙動は実測値と整合
- ・HPCI起動時のDWM圧力挙動
 - S/Cの温度成層化を考慮するとHPCI起動直前からS/Cスプレイが行われることで、DWM圧力が低下
- ・ただし、以下の点は今後の課題として引き続き検討していく
 - ・ 数値流体力学(CFD)によるS/C温度成層化の解析
 - ・ PCV漏えいの発生タイミングについて各種情報を踏まえて精査
 - ・ PCV漏えい挙動に加え、ベントラインが実際に開いていた時間が大きく影響するため、操作実績について精査し、環境への放射性物質放出量を評価

4.2 2号機のプラント挙動への影響

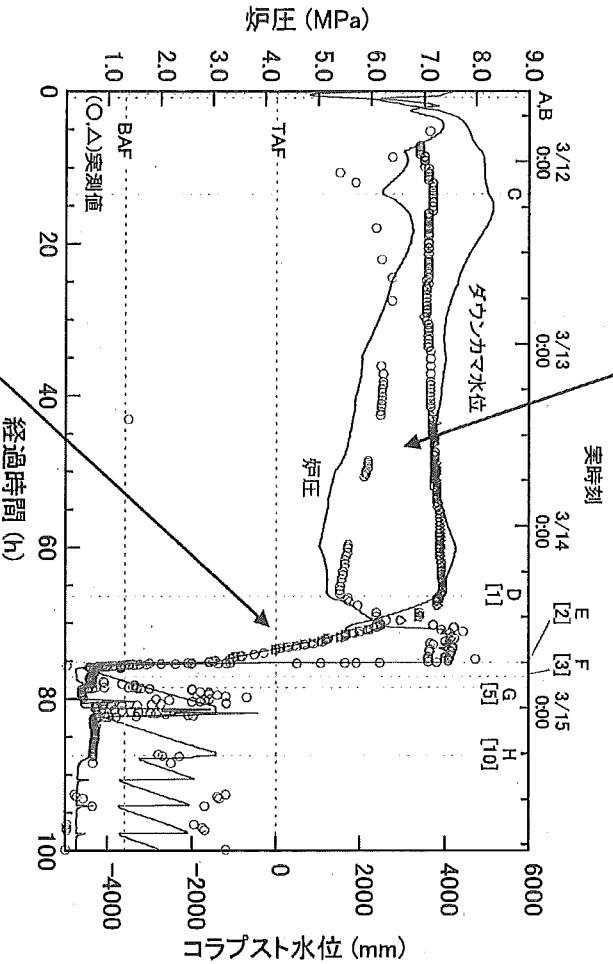
解析条件

- 早期PCV漏えいは想定しない
 - プラント実測値のDNW圧力がやや低下する時間(約70時間)に微少漏えいを仮定
 - プラント実測値のDNW圧力が大きく低下する時間(約90時間)に漏えいの拡大を仮定
 - 漏えい箇所を、DNW気相部とS/C気相部で比較
- RCICによる排気熱量が系外へ除熱されたと仮定
 - トーラス室に流入した海水により除熱された可能性を想定
 - S/C外面での海水冷却は、実際の水位の増減等が不明であるため、エンタルピーの計算により除熱(RCIC)による排気熱量の約60%分がS/Cから除熱されたと仮定)
- 東電の想定を踏まえ、直流電源喪失時のRCICによる注水量は不確定であることから、水位がTAFを切る時間をプラント実測値と整合するように調整
- S/Cは温度成層化を模擬。(1F3と同モデル)
- 現状モデルではMCCIを過大評価すると考えられるためMCCI反応は考慮せず

4.2.1 2号機の解析結果 (S/C気相部漏えい仮定)

炉圧及びび水位

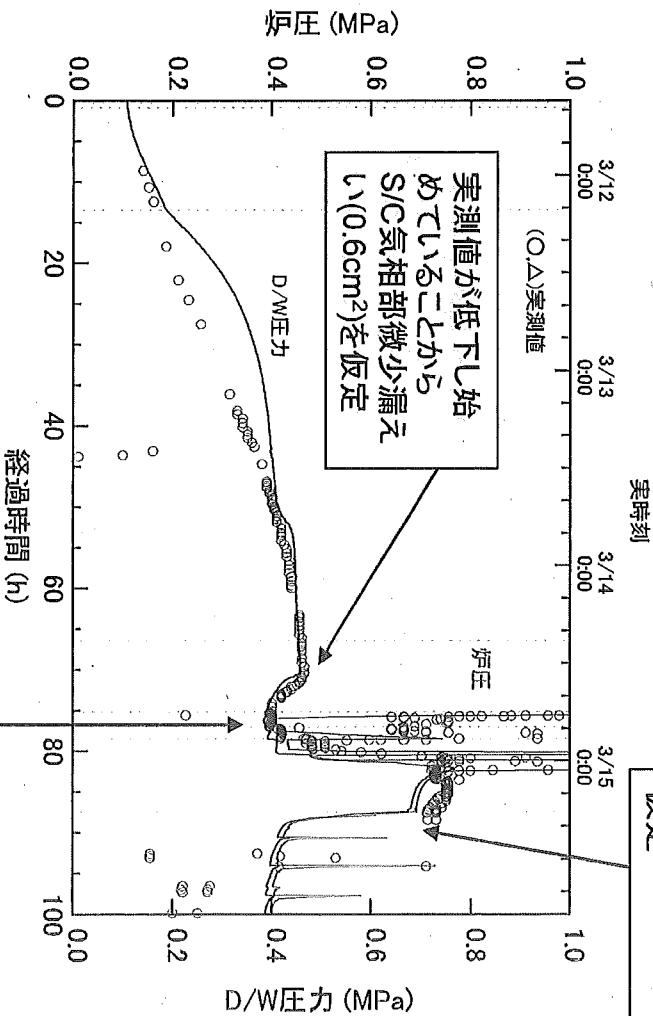
RPV圧力挙動が概ね一致



RCICの注水量はTAFを切る時間が一致するように調整

A: RCIC手動起動, B: 全交流電源喪失, C: RCIC水源をCSTからS/Cに切り替え, D[1]: RCIC作動停止, E[2]: S/R1弁開, F[3]: 海水注水, G[5]: S/R2弁開, H[10]: 異音発生

炉圧及びD/W圧力



温度成層化を仮定しているため、S/C下部でS/R弁の開放により放出された蒸気が凝縮され、D/W圧力はほとんど上昇していない

• D/W圧力が階段状に上昇する傾向が一致。
• 高いD/W圧力が維持されている。